

# MODELAGEM MATEMÁTICA DA DENSIDADE DE POÇOS ALAGOANOS UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Tatiana G. D. Da Silva<sup>1</sup>

Everton Lourenço<sup>2</sup>

Marcio A. Sampaio Pinto<sup>3</sup>

Dheiver Francisco Santos<sup>4</sup>

Engenharia de Petróleo



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

A densidade é uma característica físico-química que é comumente aplicada para analisar a qualidade do petróleo e é fundamental para o dimensionamento e aplicação de equipamentos, que torna os processos mais eficazes; também é empregada durante a produção e o refinamento do petróleo para verificar as propriedades do óleo a ser explorado. Portanto, neste trabalho foram analisadas amostras de óleos da Bacia Sergipe-Alagoas, dos campos de Pilar e Tabuleiro do Martins, por meio da caracterização da densidade e do treinamento e predição pela Rede Neural Artificial (RNA). A pesquisa demonstrou que os dados obtidos da densidade dos óleos da Bacia Sergipe-Alagoas se mostraram no enquadramento de óleo leve e que a partir da análise efetuada na RNA os dados da saída, ou seja, dados experimentais são muito próximos à da saída da rede. Logo, a caracterização da densidade se torna fundamental em diversos processos industriais em que haja transferência de fluidos de um local para outro, além de ser indispensável o estudo para encontrar técnicas úteis para um escoamento eficaz do óleo bruto.

## PALAVRAS-CHAVE

Propriedade Físico-química. Óleo Alagoano. Rede Neural Artificial.

## ABSTRACT

Density is a physicochemical characteristic that is commonly applied to analyze oil quality and is critical to the design and application of equipment, which makes the processes more effective. It is used during the production and refinement of the oil to verify the properties of the oil to be exploited. Therefore, in this work, samples of oils from the Sergipe-Alagoas Basin, from the fields of Pilar and Tabuleiro do Martins, were analyzed through density and training characterization and prediction through Artificial Neural Network. The research showed that the data obtained from the density of oils from the Sergipe-Alagoas Basin were shown in the light oil framework and that from the analysis performed in the RNA the data of the desired output are very close to the output of the network. Therefore, the characterization of density becomes fundamental in several industrial processes where there is transfer of fluids from one place to another, and the study to find useful techniques for an efficient flow of crude oil is indispensable.

## KEYWORDS

Physical-Chemical Property. Alagoan Oil. Artificial Neural Network

## 1 INTRODUÇÃO

O petróleo é composto predominantemente por hidrocarbonetos, entretanto o mesmo também apresenta em sua estrutura outros componentes, a exemplo do enxofre, nitrogênio etc. O petróleo se desenvolve em reservatórios subterrâneos que apresentam diferentes profundidades e variam de cor, odor e propriedades de fluxo que refletem a diversidade da sua origem. Uma dessas propriedades é a densidade do óleo cru, que é obtida por meio de análises físico-químicas, e que ajuda na compreensão dos processos referidos ao óleo. Ademais, essa propriedade indica a função e desempenho do produto em serviço, a partir do enquadramento do valor referente a cada óleo (SPEIGHT, 2001).

A densidade é uma das propriedades físicas mais significativas para classificar e caracterizar o óleo cru, o qual é usado juntamente com o grau API que serve para estabelecer padrões para produção, refinamento e distribuição de produtos petrolíferos, pois o mesmo indica possíveis mudanças que possam ocorrer na composição do óleo. O grau API é calculado por meio da densidade relativa, a qual pode ser obtida pela razão entre a densidade absoluta do petróleo em relação a água a uma temperatura de 60°F (FILGUEIRAS *et al.*, 2014). O óleo cru pode ser classificado em óleo menos denso (óleo leve) – que é preferível ao óleo mais denso, pois contém constituintes de baixo ponto de ebulição e moléculas cerosas – e óleo mais denso (óleo pesado), que se compõe de compostos com maiores pontos de ebulição (PETROLEUM.co.UK, 2015).

A utilização das redes neurais artificiais (RNA), tem sido incentivada pelo reconhecimento da função do cérebro humano em computar de maneira totalmente

diferente do computador digital convencional. Isto é, uma RNA é uma máquina projetada para modelar o caminho em que o cérebro realiza uma determinada tarefa ou função de interesse. A rede geralmente implementa componentes eletrônicos ou simula por meio de *softwares*, no intuito de alcançar um bom desempenho. Ademais, as RNA empregam uma interconexão maciça de células de computação simples conhecidos como “neurônios” ou “unidades de processamento” (HAYKIN, 1999).

Portanto, este trabalho visa demonstrar o método de análises físico-químicas para obtenção da densidade de óleos Alagoanos da Bacia Sergipe-Alagoas entre 25 e 50°C. Além disso, este trabalho irá modelar os dados de densidades em relação a temperatura por meio de rede neurais e relatar a importância das análises aplicadas na indústria petrolífera.

## 2 METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizada uma metodologia que agrega duas etapas para a caracterização de amostras de óleos Alagoanos da Bacia Sergipe-Alagoas, dos campos de Pilar e Tabuleiro dos Martins. A primeira etapa foi empregada para alcançar dados da densidade de cada óleo. Enquanto a segunda utiliza os dados da anterior, para modelação dos mesmo por meio de uma rede neural. As etapas são descritas a seguir:

### ETAPA 1: MEDIÇÃO DA DENSIDADE

As medidas de densidade foram realizadas em um densímetro Anton Paar DMA 4500M. O equipamento é utilizado para medições de densidade de diversos materiais como Líquidos Iônicos, Frações de Petróleo, Petróleo cru entre outros compostos.

Tabela 1 – Especificações Técnicas do Densímetro Anton Paar DMA 4500M

Especificações Técnicas DMA 4500M	
Faixa de Medição	Densidade: 0 g/cm <sup>3</sup> a 3 g/cm <sup>3</sup> Temperatura: 0°C a 100 °C (32°F a 212 °F)
Exatidão	Densidade: 0,00005 g/cm <sup>3</sup> Temperatura: 0,03 °C/0,05 °F

Fonte: Próprio Autor

As medidas de densidade dos óleos são determinadas em uma faixa de temperatura que varia de 25 a 50°C com incrementos a cada 5°C, para obter o comportamento da densidade com a temperatura. Inicialmente para validação do equipamento é realizado um teste de checagem com água ultrapura Milli-Q. Essa checagem consiste na inserção da amostra de água, aproximadamente 2 ml, no densímetro. Por meio de dados de referência do equipamento, é verificado se a densidade está dentro da faixa de medição e emite um aviso validando ou não o equipamento.

Posteriormente é inserida acetona, aproximadamente 2 ml, seguida de uma corrente de ar desidratado em sílica por 5 minutos com o objetivo de secar o tubo.

Após esse procedimento de validação o óleo é inserido no tubo em U e é verificado cautelosamente se há formação de bolhas de ar que devem ser evitadas pois influenciam as medidas. Após a constatação de não existência de bolhas são realizadas as medidas em uma faixa de 25 a 50°C e obter uma medida a cada 5°C. O grau API é calculado pelo próprio densímetro.

## ETAPA 2: TREINAMENTO E PREDIÇÃO ATRAVÉS DE REDE NEURAL ARTIFICIAL

Este trabalho implementou os dados obtidos pela análise de densidade para criação de uma rede neural. A rede neural foi criada a partir *software Matlab* e teve como dados de entrada a temperatura e dados de saída a densidade de cada óleo. Além disso, a modelagem teve 8 neurônios, 1 camada para os dados de entrada e um valor de 1000 interações. A rede neural também foi modelada para analisar os dados em uma faixa de  $1e^{-5}$  e 1000.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da análise da densidade das amostras de óleo, pelo equipamento *Anton Paar DMA 4500M*, teve como resultados dados da densidade em uma faixa de temperatura de 25 a 50°C que estão expressos na Tabela 1.

Tabela 2 – Dados da densidade das amostras de óleos Alagoanos

	PILAR		Tabuleiro	
Temperatura (°C)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão
25	0,8265	0,0023	0,8358	0,00012
30	0,8245	0,0002	0,8312	0,00020
35	0,8206	0,0026	0,8271	0,00026
40	0,8166	0,0018	0,8233	0,00025
45	0,8134	0,0006	0,8195	0,00016
50	0,8094	0,0003	0,8158	9,19E-05
Média	0,8185		0,8254	

Fonte: Próprio Autor

A Tabela 1 expressa os dados das densidades em g/cm<sup>3</sup>, onde pode-se verificar que a densidade da amostra de óleo de Tabuleiro dos Martins e Pilar é menos densa que água. Dessa forma, por meio dos valores obtidos da densidade dos óleos, foi possível calcular o grau *American Petroleum Institute* (API) de cada amostra de óleo, por meio do próprio equipamento, representados pela tabela abaixo:

Tabela 2 – Grau API das amostras de óleo

	<b>PILAR</b>	<b>Tabuleiro</b>
Grau API	38,35	36,17

Fonte: Próprio Autor

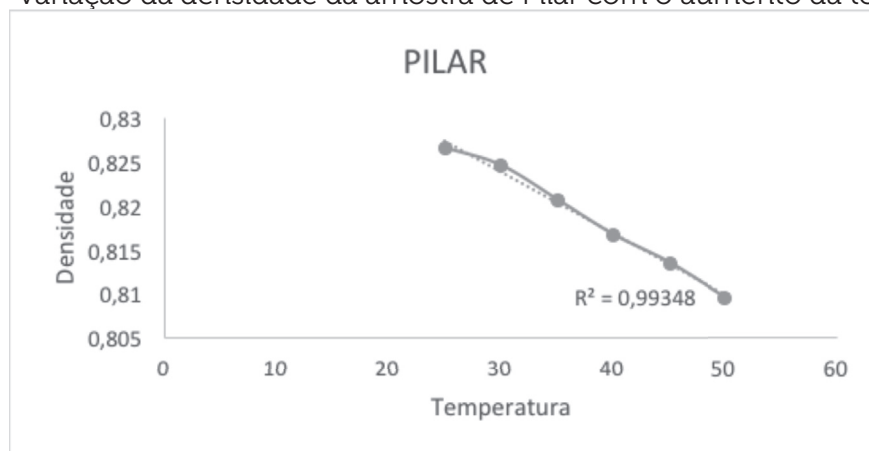
O grau API é uma escala arbitrária que mede a densidade dos líquidos derivados do petróleo e quanto maior a densidade do óleo, menor será o grau API. Consequentemente o mesmo terá um menor valor de mercado associado, pois produzirá derivados de menor lucratividade agregada. Assim, por meio da determinação do grau API mostrado na Tabela 2, é possível caracterizar os óleos de acordo com as padronizações utilizadas na indústria petrolífera, pois quanto maior o grau API do óleo cru mais leve será óleo.

Tanto a amostra de óleo do campo do Tabuleiro quanto a amostra de Pilar se enquadram em um óleo convencional leve, os quais apresentam um grande valor econômico no mercado. Pois, ambos apresentam compostos mais leves e baixo ponto de ebulição, o que demonstra uma maior facilidade de escoamento durante sua produção e seu refinamento produz uma grande quantidade de gasolina (FEBRARO; DELGADO, 2017).

A definição da densidade está diretamente associada com as alternativas de recuperação de um poço, no intuito de aumentar a vazão de óleo em um determinado tempo. Em razão das características de mobilidade do óleo durante sua produção, óleos com baixa densidade e alta viscosidade apresentam um baixo ponto de fluidez que dificulta o processo de produção (GHANNAM et.al., 2012).

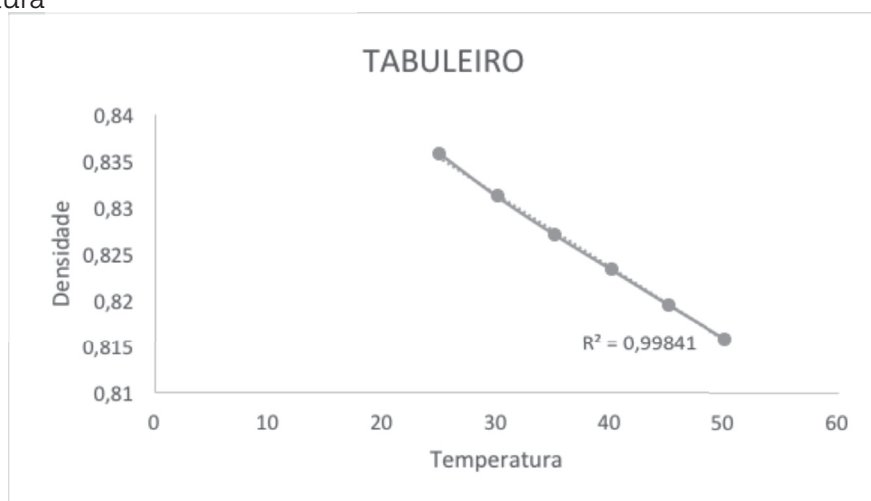
Uma das características do petróleo é que com o aumento da temperatura há uma diminuição da densidade, como é representado nas Figuras 3 e 4, onde a densidade da amostra de Pilar inicia com valor de 0,8265 g/cm<sup>3</sup> para temperatura de 25°C e ao longo dos incrementos da temperatura, diminui até o valor de 0,8094 g/cm<sup>3</sup> para temperatura de 50°C. Já a amostra de Tabuleiro, inicia numa densidade de 0,8358 g/cm<sup>3</sup> para temperatura de 25°C e diminui para 0,8158 g/cm<sup>3</sup> na temperatura de 50°C.

Figura 3 – Variação da densidade da amostra de Pilar com o aumento da temperatura



Fonte: Próprio Autor

Figura 4 – Variação da densidade da amostra de Tabuleiro com o aumento da Temperatura

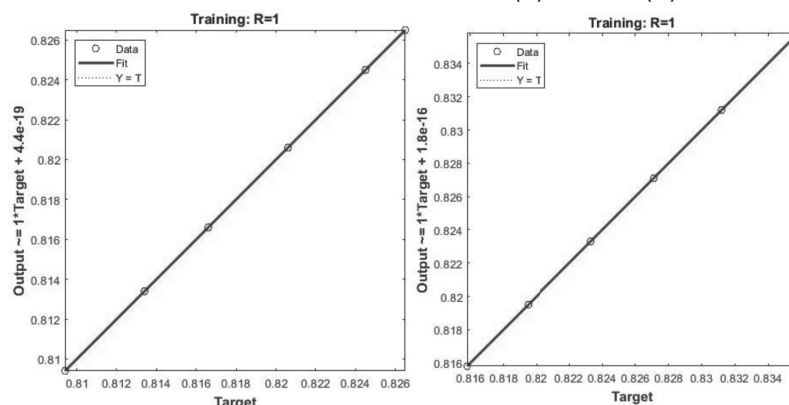


Fonte: Próprio Autor

Por meio dos dados obtidos anteriormente da densidade e temperatura dos óleos, como é exibido na Tabela 1 foi possível modelar uma rede neural, como é mostrado nas Figuras 5 (a) e (b). As RNA foram construídas por meio do *software Matlab* com o intuito de demonstrar uma relação entre os dados obtidos pela análise experimental e os gerados pela modelagem computacional. As redes neurais apresentam uma estrutura com habilidade de adaptabilidade mediante a um algoritmo de aprendizado, tolerância a falhas, analogia neurobiológicas e uniformidade de análise de projeto (MATSUNAGA, 2012).

Na Figura 5 (a) e (b), o eixo x representa os dados de saída, ou seja, os dados de densidade obtidos a partir da análise química e o eixo y representa os dados gerados a partir da modelagem com, RNA. Assim, de acordo com a Figura 5, os dados da saída desejada (linha contínua) é muito próxima à da saída da rede (círculos), indicando um bom desempenho da rede neural.

Figura 5 – Rede neural da densidade dos óleos de (a) Pilar e (b) Tabuleiro dos Martins



Fonte: Próprio Autor

## 4 CONCLUSÃO

As propriedades físico-químicas dos óleos são bastante úteis em diversos processos industriais em que haja transferência de fluidos de um local para outro. A exemplo da migração do óleo bruto dentro do reservatório, que requer baixa viscosidade e baixa densidade para haver um escoamento eficaz. Existe, também, a necessidade de verificar a densidade do óleo e obter valor do grau API para aferir a classificação do óleo. Essa necessidade decorre das características de produção, pois se ele se enquadrar em óleo pesado ou extrapesado, é indispensável o estudo para encontrar técnicas úteis para um escoamento eficaz do óleo bruto.

Porém, de acordo com as análises realizadas nas amostras de óleos Alagoanos, da Bacia Sergipe Alagoas, ambos se enquadram em óleo convencional leve, o que gera uma facilidade de produção. Ademais, são bastante lucrativos no mercado econômico pela produção de derivados de alto valor comercial, a exemplo da gasolina, diesel e QAV. Entretanto, apesar de ambos os óleos serem leves, a amostra do óleo de Pilar apresenta um maior valor agregado, já que é mais leve que o óleo de Tabuleiro e durante sua refinação irá produzir maior quantidade de derivados mais lucrativos.

## REFERÊNCIAS

FEBRARO, Júlia; DELGADO, Fernanda. **Produção, consumo e saldo comercial do petróleo**. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2017.

FILGUEIRAS, P.R. *et al.* Determination of API gravity, kinematic viscosity and water content in petroleum by ATR-FTIR spectroscopy and multivariate calibration. **Fuel**, 116, p.123-130, 2014.

GHANNAM, Mamdouh T. *et al.* Rheological Properties of Heavy & Light Crude Oil Mixtures for Improving Flowability. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, Web, v.81, p.122-128, 2012.

HAYKIN, Simon. **Neural networks and learning machines**. 3rd ed.p. cm. Rev. ed of: **Neural networks**. 2nd ed., 1999networks. 2nd ed., 1999.

PETROLEUM.CO.UK. API GRAVITY. Site informativo aplicado para Engenharia de Petróleo, 2015. Disponível em: < <http://www.petroleum.co.uk/api>>. Acesso em:

SPEIGHT, James G. **Handbook of Petroleum Analysis**. N.p., 2001. Print.

MATSUNAGA Victoria Y. **Curso de Redes Neurais utilizando o Matlab**. Apostila a auxilio ao curso de Redes Neurais, Belém-Pará, 2012. Disponível em: <<http://www.muriloleal.com.br/repositorio/centec/eai/ia/REDES%20NEURAI%20-%20APOSTILA.pdf>>. Acesso em:2018

---

**Data do recebimento:** 6 de Julho de 2018

**Data da avaliação:** 23 de Julho de 2018

**Data de aceite:** 28 de Julho de 2018

---

---

1 Engenharia de Petróleo, Centro Universitário Tiradentes – UNIT- AL. Email: tatiana.doria@outlook.com

2 Engenharia de Petróleo, Universidade Tiradentes – UNIT-SE. E-mail: everton.lourenco@acad.unit.br

3 Engenharia de Petróleo, USP-SP. E-mail: marciosampaio@usp.br

4 Engenharia de Petróleo, Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL. Email: dheiver.francisco@souunit.com.br